

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-223764

(43)Date of publication of application : 17.08.1999

(51)Int.Cl.

G02B 13/00
G06F 17/50

(21)Application number : 10-039851

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 06.02.1998

(72)Inventor : SHIBAYAMA ATSUSHI

(54) LENS DESIGNING METHOD AND RECORDING MEDIUM RECORDED WITH LENS DESIGN PROGRAM**(57)Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a lens designing method suited for the execution by a computer for efficiently operating lens design under the consideration of manufacture tolerance in addition to optical performance such as various aberration.

SOLUTION: The values of plural constituting elements are locally changed so that a lens system expressed by those plural constituting elements can have desired characteristics, and the minimum value of a merit function for evaluating the approach of the value of each constituting element to an optimal constituting element value as the whole lens system is calculated so that the optimal constituting element value can be obtained in this lens designing method. When the tertiary spherical surface aberration coefficient of the (i)th face of the lens system is set l_i , the tertiary coma aberration coefficient of the (i)th face of the lens system is set l_{ii} , a first weight value is $W1$, second weight value is $W2$, and arbitrary real numbers are set $k1$ and $k2$, the merit function includes the component of $W1(\overline{l_i})^{k1} + W2(\overline{l_{ii}})^{k2}$.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-223764

(43)公開日 平成11年(1999) 8月17日

(51)Int.Cl.⁸

識別記号

F I

G 0 2 B 13/00

G 0 2 B 13/00

G 0 6 F 17/50

G 0 6 F 15/60

6 0 4 A

6 8 0 A

審査請求 未請求 請求項の数6 F D (全 5 頁)

(21)出願番号

特願平10-39851

(22)出願日

平成10年(1998) 2月6日

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 芝山 敦史

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

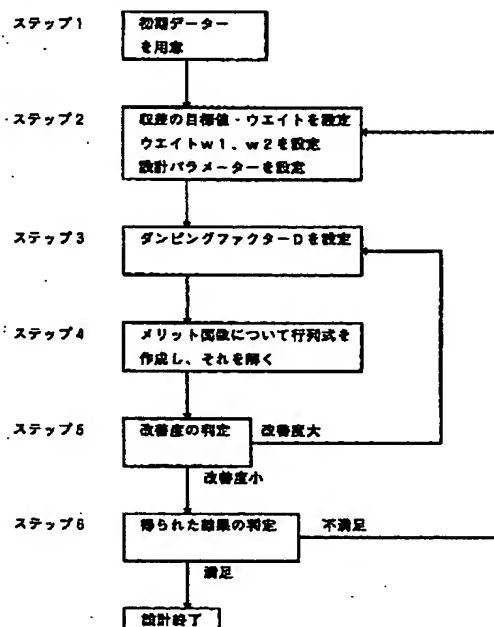
(74)代理人 弁理士 井上 義雄

(54)【発明の名称】 レンズ設計方法及びレンズ設計プログラムを記録した記録媒体

(57)【要約】

【課題】 コンピュータで実行するのに適し、諸収差等の光学性能に加えて製造公差をも考慮したレンズ設計を効率良く行なうことができるレンズ設計方法を提供すること

【解決手段】 複数の構成要素で表現されるレンズ系が所望の特性となるように、該複数の構成要素の値を局所的に変更し、前記各構成要素の値が前記レンズ系全体として最適な構成要素値へ接近していることを評価するメリット関数の極小値を求めることで、前記最適な構成要素値を獲得するレンズ設計方法において、前記レンズ系の第*i*面における3次の球面収差係数を*I_i*、前記レンズ系の第*i*面における3次のコマ収差係数を*I_{1i}*、第1のウェイト値を*W₁*、第2のウェイト値を*W₂*、任意の実数を*k₁*および*k₂*としたとき、前記メリット関数は、 $W_1 \cdot (|I_i|)^{k_1} + W_2 \cdot (|I_{1i}|)^{k_2}$ の成分を含む。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の構成要素で表現されるレンズ系が所望の特性となるように、該複数の構成要素の値を局所的に変更し、前記各構成要素の値が前記レンズ系全体として最適な構成要素値へ接近していることを評価するメリット関数の極小値を求めることで、前記最適な構成要素値を獲得するレンズ設計方法において、

前記レンズ系の第 i 面における3次の球面収差係数を I_i 、

前記レンズ系の第 i 面における3次のコマ収差係数を II_i 、

第1のウェイト値を $W1$ 、

第2のウェイト値を $W2$ 、

任意の実数を $k1$ および $k2$ としたとき、前記メリット関数は、

$$W1 \cdot (|I_i|)^{k1} + W2 \cdot (|II_i|)^{k2}$$

の成分を含むことを特徴とするレンズ設計方法。

【請求項2】 前記 $k1$ 及び $k2$ は、

$$1 \leq k1 \leq 3$$

$$1 \leq k2 \leq 3$$

の条件を満足することを特徴とする請求項1記載のレンズ設計方法。

【請求項3】 前記 $k1$ 及び $k2$ は、

$$k1 = 2$$

$$k2 = 2$$

の条件を満足することを特徴とする請求項1又は2記載のレンズ設計方法。

【請求項4】 複数の構成要素で表現されるレンズ系が所望の特性となるように、該複数の構成要素の値を局所的に変更し、前記各構成要素の値が前記レンズ系全体として最適な構成要素値へ接近していることを評価するメリット関数の極小値を求めることで、前記最適な構成要素値を獲得するレンズ設計プログラムを記録した記録媒体において、

前記レンズ系の第 i 面における3次の球面収差係数を I_i 、

前記レンズ系の第 i 面における3次のコマ収差係数を II_i 、

第1のウェイト値を $W1$ 、

第2のウェイト値を $W2$ 、

任意の実数を $k1$ および $k2$ としたとき、前記メリット関数は、

$$W1 \cdot (|I_i|)^{k1} + W2 \cdot (|II_i|)^{k2}$$

の成分を含むことを特徴とするレンズ設計プログラムを記録した記録媒体。

【請求項5】 前記 $k1$ 及び $k2$ は、

$$1 \leq k1 \leq 3$$

$$1 \leq k2 \leq 3$$

の条件を満足することを特徴とする請求項4記載のレンズ設計プログラムを記録した記録媒体。

【請求項6】 前記 $k1$ 及び $k2$ は、

$$k1 = 2$$

$$k2 = 2$$

の条件を満足することを特徴とする請求項4又は5記載のレンズ設計プログラムを記録した記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、コンピューター等の計算処理装置を用いて実行するのに適したレンズ設計方法及びレンズ設計プログラムを記録した記録媒体に関する。

【0002】

【従来の技術】従来からコンピューター等で実行するのに適したレンズ設計方法として、最急降下法 (Steepest Decent Method)、共役勾配法 (Conjugate Gradient Method)、最小自乗法 (Least Squares Method)、減衰最小自乗法 (Damped Least Squares Method、以下「DLS法」という) などが知られている。いずれの方法も、レンズの曲率半径、面間隔、又は屈折率等を変数 (設計パラメータ) として目標値 (最適値) へ近づけることを行なう。この際、個々の変数がそれぞれの目標値へ系全体として接近しつつあるか否かを1つの数値で判定するための単一評価尺度としてメリット関数を用いるのが一般的である。そして、所定のメリット関数が極小値を有する時の各変数 (パラメーター) の組み合わせを求めるものである。

【0003】上述のように、レンズ設計に用いられる変数としては、レンズの曲率半径、面間隔、又は屈折率を用いるのが一般的である。また、メリット関数は、光線収差の目標値からの差、又はレンズ全系での収差係数と目標値からの差を成分とし、各成分の自乗和を用いるのが一般的である。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、コンピューターを用いた従来のレンズ設計方法においては、光線収差などから決定されるメリット関数を極小化することのみを目的にしているため、レンズ等の製造公差を無視した設計となる傾向が強く、コンピューターを利用しても適切な製造公差までを含んだレンズデータを求めるのが困難であった。このため、従来は、経験を積んだレンズ設計者の有する知識又はノウハウ等に基づいて設計パラメータの数を少数に制限すること、又は手作業による設計 (hand method) によってコンピューターで得られた結果に修正を加えること等を行なう必要があった。したがって、コンピューターの計算速度は向上しているにもかかわらず、製造公差も含んだ最適なレンズデータを求めるためのレンズ設計には時間と人手がかかり、効率良く設計を行なうことが困難であり問題で

ある。

【0005】本発明は、上記問題に鑑みてなされたものであり、コンピュータで実行するのに適し、諸収差等の光学性能に加えて製造公差をも考慮したレンズ設計を効率良く行なうことができるレンズ設計方法を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明のレンズ設計方法は、複数の構成要素で表現されるレンズ系が所望の特性となるように、該複数の構成要素の値を局所的に変更し、前記各構成要素の値が前記レンズ系全体として最適な構成要素値へ接近していることを評価するメリット関数の極小値を求めることで、前記最適な構成要素値を獲得するレンズ設計方法において、前記レンズ系の第 i 面における 3 次の球面収差係数を I_i 、前記レンズ系の第 i 面における 3 次のコマ収差係数を II_i 、第 1 のウェイト値を $W1$ 、第 2 のウェイト値を $W2$ 、任意の実数を k_1 および k_2 としたとき、前記メリット関数は、 $W1 \cdot (|I_i|)^{k_1} + W2 \cdot (|II_i|)^{k_2}$ の成分を含むことを特徴とする。

【0007】また、本発明のレンズ設計方法では、上記 k_1 と k_2 を下記の条件式、

$$1 \leq k_1 \leq 3$$

$$1 \leq k_2 \leq 3$$

の範囲とすることが望ましい。さらに好ましくは、 $k_1 = k_2 = 2$ とすることが望ましい。

【0008】また、本発明では、上記レンズ設計を行なうためのプログラムを記録した記録媒体であることを特徴とする。

【0009】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について説明する。本発明のレンズ設計方法は、従来のメリット関数の極小値を求める方式のレンズ設計方法に組み合わせることが可能であるので、従来のレンズ設計方法の

代表的な DSL 法に組み合わせる場合を例にして説明する。

【0010】まず、従来の DSL 法によるレンズ設計方法について説明する。

【0011】DSL 法ではメリット関数 ϕ は次式、

$$\phi = \sum_{a=1}^m f_a^2 + \sum_{b=1}^n D(x_b - x_{b0})^2$$

で定義される。

【0012】上記メリット関数の極小値を求めるためには、 $\partial \phi / \partial X_b = 0$ ($b = 1, 2, \dots, n$) を満足する X_b の組を求めればよい。

【0013】ここで、 f_a は光学系の収差に関し、 $f_a = w_a (f_{Ra} - f_{La})$ で定義される。ただし、 w_a は第 a 番目の収差のウェイトであり、 f_{Ra} は第 a 番目の収差値、 f_{La} は第 a 番目の収差の目標値である。また各収差値 f_{Ra} は設計パラメータ X_1, X_2, \dots, X_n の関数である。また、 X_b は曲率半径や面間隔、屈折率などの設計パラメータ、 x_{b0} は設計の出発点での設計パラメータ、 D はダンピングファクタをそれぞれ表している。ダンピングファクタ D は、設計パラメータが設計開始の値（初期値）から離れるのを適度に防ぐ働きをする。また、 m は評価をおこなう収差の数、 n は設計に用いるパラメータの数をそれぞれ表している。

【0014】かかるメリット関数 ϕ において、設計出発点近傍では各収差値が設計パラメータの線形関数として近似できる。このため、 $\partial \phi / \partial X_b = 0$ の式は、 X_b に対して線形な連立方程式となるので、最小自乗法によって解くことができる。この計算は、コンピュータを用いることで迅速かつ容易に実行できる。

【0015】次に、本発明の実施形態にかかるレンズ設計方法について説明する。本実施形態のメリット関数 ϕ は次式 (1)、

$$\phi = \sum_{a=1}^m f_a^2 + \sum_{b=1}^n D(x_b - x_{b0})^2 + \sum_{i=1}^l \{w1(|I_i|)^{k1} + w2(|II_i|)^{k2}\} \quad (1)$$

で表される。

【0016】ここで、 I_i はレンズ系の第 i 番目の面における 3 次の球面収差係数、 II_i はレンズ系の第 i 番目の面における 3 次のコマ収差係数である。なお、収差係数の計算方法は、松居吉哉著「レンズ設計法」（共立出版、1972 年）に詳述されている。 $w1$ および $w2$ は、それぞれ球面収差係数、コマ収差係数のウェイトを示している。また、 l はレンズの面数、 k_1 および k_2 は収差係数の冪をあらわす実数を表している。

【0017】本実施形態のレンズ設計方法を有効に使用するには、

$$1 \leq k_1 \leq 3$$

$$1 \leq k_2 \leq 3$$

の条件を満足するのが望ましい。 k_1, k_2 が上記条件を外れると、収差値の最適化と製造公差の最適化を両立させることが困難となり問題である。さらに好ましくは、 $k_1 = k_2 = 2$ とするのが、本発明のレンズ設計方法を最も有効に働かせることができ、さらにコンピュータでの計算を高速にできるので最も望ましい。

【0018】また、ウェイト $w1, w2$ を適切に設定すると、(1) 式で定義されたメリット関数を用いてレンズ設計を行なうことにより、収差値の最適化に加えて、レンズ各面で発生する球面収差・コマ収差の絶対値を小さくすることが可能となる。

【0019】次に、レンズ各面で発生する球面収差・コマ収差の絶対値を小さくする事と製造公差との関係について説明する。

【0020】レンズ製造の際に、最も性能劣化に影響するのは、一般にレンズ面の偏芯である。あるレンズ面が

$$\Delta Y(Ec) = -Ec / 2\alpha' \{ (\Delta E)c + \tan^2 \omega [3(VE1)c - (VE2)c] + 2R \tan \omega [3 \cos \phi R (IIIE)c + \cos \phi R (PE)c] + R^2 (2 + \cos 2\phi R) \cdot (2IIIE)c \} \quad (2)$$

ここで、

$$\begin{aligned} (\Delta E)c &= -2(\alpha'c - \alpha c) \\ (VE1)c &= \{\alpha'cVR - \alpha c(Vc + VR)\} \\ &\quad - \{A\alpha'cIIIR - A\alpha c(IIIC + IIIR)\} \\ (VE2)c &= A\alpha'cPR - A\alpha c(Pc + PR) \\ (IIIE)c &= \{\alpha'cIIIR - \alpha c(IIIC + IIIR)\} \\ &\quad - \{A\alpha'cIIIR - A\alpha c(IIIC + IIIR)\} \\ (PE)c &= \alpha'cPR - \alpha c(Pc + PR) \\ (IIIE)c &= \{\alpha'cIIIR - \alpha c(IIIC + IIIR)\} \\ &\quad - \{A\alpha'cIIIR - A\alpha c(IIIC + IIIR)\} \end{aligned} \quad (3)$$

である。

【0022】ここで、 Ec は偏芯レンズ面のシフト換算での偏芯量、 ω は軸外物点からの主光線が光軸となす角、 R は物体側主平面上での入射瞳半径、 ϕR は物体側主平面上での光線のアジマス角、 αc は物体近軸光線の偏芯レンズ面の物体側における換算傾角、 $\alpha'c$ は物体近軸光線の偏芯レンズ面の像側における換算傾角、 $A\alpha c$ は瞳近軸光線の偏芯レンズ面の物体側における換算傾角、 $A\alpha'c$ は瞳近軸光線の偏芯レンズ面の像側における換算傾角、 Ic 、 IIc 、 $IIIC$ 、 Pc 、 Vc は偏芯レンズ面の3次収差係数、 IR 、 $IIIR$ 、 $IIIR$ 、 PR 、 VR は偏芯レンズ面より後方のレンズ面の3次収差係数である。

【0023】 $(\Delta E)c$ 、 $(VE1)c$ 、 $(VE2)c$ 、 $(IIIE)c$ 、 $(PE)c$ 、 $(IIIE)c$ は偏芯レンズ面の偏心収差係数であり、それぞれが偏芯レンズ面の偏心に伴う以下の収差変化、

$(\Delta E)c$: プリズム効果 (像の横ずれ)
 $(VE1)c$ 、 $(VE2)c$: 偏心歪曲
 $(IIIE)c$ 、 $(PE)c$: 像面の倒れ、軸上非点収差
 $(IIIE)c$: 偏心コマ収差

を表している。

【0024】このうち、 $(\Delta E)c$ によるプリズム効果および $(VE1)c$ 、 $(VE2)c$ による偏心歪曲は像の鮮鋭度には影響しない。また、 $(IIIE)c$ 、 $(PE)c$ による像面の倒れ、軸上非点収差の影響は、画角の狭い場合には像の鮮鋭度に影響しない。さらに、 $(IIIE)c$ の偏心コマ収差は、光軸の近傍から、画角の最周辺部までのすべてにわたって、像の鮮鋭度に影響する。このため、あらゆる種類の光学系の偏芯収差に対し

偏芯したときの収差の変化は偏芯収差係数で次式のように近似的に表現することができる。なお、レンズ系の焦点距離は1に規格化してある。

【0021】

【数1】

て大きな影響を与えるのは、該偏芯コマ収差係数であることがわかる。

【0025】なお、偏芯収差係数およびその導出方法に関しては松居吉哉著「偏芯の存在する光学系の3次の収差論」(日本オプトメカトロニクス協会、1990年)に詳述されている。

【0026】偏芯コマ収差係数は、偏芯レンズ面の球面収差係数とコマ収差係数、及び偏芯レンズ面より後方のレンズ面の球面収差係数とコマ収差係数とに關係している。このため、各レンズ面における球面収差係数とコマ収差係数をそれぞれ小さくすることで、光学系の何れのレンズ面が偏芯した場合でも、偏芯収差の発生を小さく抑えることが可能となり、製造公差を緩和する事、さらにレンズ製造時の歩留まりを向上させる事ができる。

【0027】なお、実際の多くのレンズ系にあっては、すべてのレンズ面で球面収差係数とコマ収差係数を零とし、かつレンズ系全体での諸収差を補正することは事実上不可能であり、両者は互いにトレードオフの關係にある。このため、(1)式で示したメリット関数におけるウェイト $w1$ 、 $w2$ を光学系に応じて大きく、又は小さくすることで、レンズ系全体での収差の補正と、製造公差の緩和をバランスよく両立することができる。特に、収差補正のみに着目したメリット関数の設定によって起りやすい、レンズの製造公差を無視したレンズ設計になることを防止できる。

【0028】図1は、本実施形態にかかるレンズ設計方法の手順を示すフローチャートである。ステップ1で初期データを用意する。ステップ2で、諸収差の目標値・ウェイト、ウェイト $w1$ 、 $w2$ 、及び設計パラメータを設定する。また、ステップ3でダンピングファクタ D を設定する。ここで、通常はダンピングファクタのデフ

ォルト値が設定される。以上のステップでメリット関数が決定されたので、ステップ4においてメリット関数についての行列式すなわち連立方程式を作成し、それを解く。続くステップ5で、メリット関数の値の変化を評価し、改善度を判定する。改善度が所定値以下の場合には、ローカルミニマムに達したと判定しループを抜ける。改善度がある値以上の場合には、ステップ3に戻る。ステップ3においては、前のループにおけるステップ4で作成した行列式から予測される改善度と実際の改善度を比較し、ダンピングファクタDを増減させる。ステップ5でループを脱出した場合には、ステップ6において得られた結果を評価する。結果が満足ならば設計は終了、不満足の場合にはステップ2に戻り、設計条件を

変更して設計を続行する。以上のステップのうち、ステップ3からステップ5までがコンピュータでプログラムするのに適している。

【0029】

【発明の効果】本発明によれば、コンピュータで実行するのに適し、光学性能だけでなく製造公差についても良好となり、かつレンズ設計を効率良く行なうことができるレンズ設計方法を提供することができる。また、かかる設計効率の良いレンズ設計を行なうプログラムを記録した記録媒体を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態にかかるレンズ設計方法の手順を説明するための図である。

【図1】

